

МЕТОД ПСЕВДОГОЛОГРАФИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ

Колесов В.В., Залогин Н.Н., Воронцов Г.М.

Институт радиотехники и электроники РАН
103907, Москва, Моховая, 11

Разработка специальных способов кодирования информации при передаче, обработке и хранении, позволяющих обеспечить эффективное восстановление потерь информации, имеет достаточно большую актуальность. Использование и хранение информации в электронном виде все шире используется в современном мире. Практически все крупные библиотеки и хранилища переводят свои архивные фонды на цифровые носители. С появлением новых информационных технологий наряду с требованиями высокой скорости передачи и возможности быстрого доступа на первый план выходит проблема эффективного восстановления информации при неизбежных потерях при передаче, архивации и долговременном хранении.

В этой связи интересен физический принцип оптической голографии. Оптическая голография, представляет собой способ фиксации на фотоносителе (голограмме) фазовой картины волновых полей, рассеянных объектами, с помощью опорной когерентной волны и является по сути своей аналоговым кодированием изображений объектов. Важной и полезной особенностью такого кодирования является тот факт, что в силу сферичности рассеянных волн информация о каждой рассеивающей точке объекта равномерно распределяется по всей голограмме и появляется возможность полноценного восстановления первоначального изображения по небольшому фрагменту голограммы с помощью опорного когерентного излучения (ключа). Даже безвозвратная потеря значительного участка голограммы не мешает восстановить целостное изображение при декодировании. Ухудшение качества восстановленного изображения проявляется лишь в некотором уменьшении яркости и контрастности.

В настоящей работе предпринята попытка создания цифрового аналога голографического кодирования предназначенного для восстановления информационного блока по его фрагменту. Наиболее показательным, как и в случае оптической голографии, является восстановление цифрового изображения. Очевидно, что любую текстовую информацию тоже можно представить как графическую. В качестве физической модели подлежащего кодированию цифрового изображения удобно работать с матрицей элементов, состоящей из нулей и единиц, аналогичное растровому изображению. Очевидно, что такой способ представления графической информации можно распространить и на цветные изображения путем наложения друг на друга нескольких матриц. В зависимости от разрешения единичный элемент изображения- пиксел может формироваться как одиночной точкой, так и целым набором точек раstra.

Проведем преобразование растровой матрицы путем перенумерации (перемешивания) ее членов таким образом, чтобы любое компактное подмножество элементов рассеивалось равномерно по всему полю матрицы. В результате такого преобразования черные и белые элементы раstra перемешиваются, и изображение становится однородно серым. Обратное однозначное преобразование возвращает все элементы на свои места, и изображение восстанавливается в первоначальном виде. Такой способ преобразования матрицы должен обеспечивать удовлетворительное воспроизведение изображения в целом при декодировании, даже если часть преобразованной матрицы будет потеряна. Таким образом, имеет место прямая аналогия между предлагаемым способом цифрового кодирования изображений и аналоговым способом, известным как оптическая голография.

Следует отметить, что восстановление целостного изображения по фрагменту кодированного может быть осуществлено различными способами и в частности с помощью хорошо известного двумерного преобразования Фурье и аналогичных ему. Однако распределение кодированной информации об элементах изображения в этом случае происходит крайне неравномерно. Необходимо отметить, что способы кодирования, использующие разложение элементов изображения по пространственным гармоническим модам и учитывающие фазовые соотношения между ними, являются, аналоговыми даже при использовании дискретного аналитического аппарата.

В качестве модельного изображения, подлежащего кодированию, бралась матрица размером 256×256 элементов, содержащая набор нулей и единиц, организованных в виде букв русского алфавита. Такое изображение обладает достаточно хорошей контрастностью. Перемешивание элементов матрицы производилось с помощью метода двойной перестановки по псевдослучайному закону. Для обеспечения равномерности рассеяния и однозначности кодирующего преобразования с помощью генератора случайных чисел для каждой строки матрицы создавался специальный код перемешивания из перестановок по случайному закону полного набора 256-ти целых чисел натурального ряда.

Таким образом создавалась кодирующая матрица, состоящая из 256 строк с различными псевдослучайными последовательностями из 256-ти беспорядочно перемешанных целых чисел из числового интервала [1,256]. С помощью этой матрицы производилась перенумерация исходной матрицы изображения по строкам путем перестановки ее элементов по случайному закону, задаваемому соответствующей строкой кодирующей матрицы.

Перенумерованная таким образом матрица изображения переворачивалась на 90° . В результате такого поворота строки становились столбцами, а столбцы строками. После этого формировалась новая кодирующая матрица из псевдослучайных последовательностей перемешанных 256-ти чисел натурального ряда от 1 до 256, и производилось новое перемешивание. В результате второй перенумерации происходило полное перемешивание элементов исходной матрицы. Ее ij -элемент становился lm -элементом с вероятностью порядка $1/256^2$. Т.е. черные и белые элементы изображения достаточно равномерно распределялись по всему полю преобразованной матрицы. Изображение становилось серым квадратом.

Для проведения обратного преобразования необходимо подготовить декодирующие матрицы, т.е. матрицы, возвращающие перенумерованные элементы на прежнее место. Имитацию потерь части закодированного изображения можно промоделировать различным образом. Выделим в матрице, соответствующей закодированному изображению, произвольный блок элементов, дополнив его нулями так, чтобы исходные размеры матрицы сохранились. По аналогии с машинописью такую процедуру можно назвать «забеливанием». При восстановлении исходного изображения по фрагменту закодированного не важно, какой участок закодированного изображения поврежден. На рис. показаны различные варианты повреждения закодированного изображения: массив «забеленных» столбцов и «госкут» фрагмент- 1/16 закодированного изображения. Результаты восстановления исходного изображения при таких повреждениях представлены на рис. справа. Хорошо видно, что по уцелевшим фрагментам преобразованной матрицы удается достаточно удовлетворительно восстановить первоначальную картину. Естественно, что с уменьшением площади матрицы, по которой проводится восстановление, изображение становится все более неразборчивым.

Полученные результаты подтверждают справедливость проведения аналогии между предложенным способом кодирования и принципом восстановления целого изображения по фрагменту голограммы.

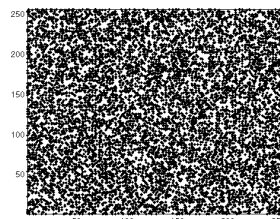
При использовании дополнительных аппроксимационных методов при реконструкции изображения по закодированному фрагменту, эффективность восстановления может быть значительно повышена. При этом априорная информация о характере изображения позволит выбрать наиболее эффективный метод аппроксимации, например, полутоновые изображения хорошо восстанавливаются при применении медианного сплайна, а контурные (текст, чертежи, схемы) при применении методов усиливающих линейный контраст [1].

Как показывают численные эксперименты, основным требованием к кодирующему алгоритму, является обеспечение равномерного перемешивания отдельных элементов информационного блока по всему объему. Второе важное требование- это однозначность при восстановлении информационного блока. В результате обратного преобразования при декодировании различные элементы не должны отображаться в одну точку.

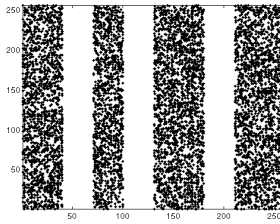
При создании кодирующих матриц, обеспечивающих перемешивание элементов изображения по псевдослучайному закону, могут быть использованы как стандартные генераторы псевдослучайных чисел, так и специальные программы генерации псевдослучайных целых чисел, например, дискретные хаотические алгоритмы описанные в [2]. Следует отметить, что с увеличением объема информационных блоков эффективность восстановления по фрагментам сильно зависит от «равномерности» перемешивания первичной информации, поэтому применение для этих целей разработанных детерминированных хаотических алгоритмов может играть решающую роль.



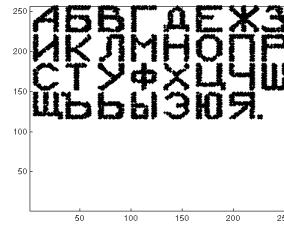
Исходное изображение



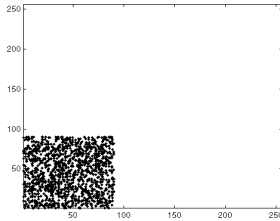
Кодированное изображение



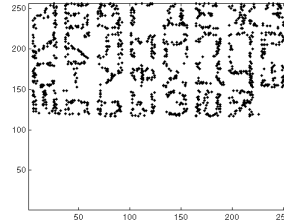
Поврежденное кодированное изображение



Восстановленное изображение



Фрагмент кодированного изображения



Восстановленное изображение

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 00-07-90147.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Де Бор К., Практическое руководство по слайдам. Москва, Радио и связь, 1985 г.
2. Беляев Р.В., Воронцов Г.М., Колесов В.В //Случайные последовательности, формируемые нелинейным алгоритмом с запаздыванием, Радиотехника и электроника, 2000, т. 45, №12, с.954.